

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: **00241774 A**

(43)Date of publication of  
application: **08. 09 . 00**

(51)Int. Cl **G02F 1/01**  
**G02F 1/313**

(21)Application number: **11039847**

(22)Date of filing: **18 . 02 . 99**

(71)Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH  
CORP <NTT>**

(72)Inventor: **OBA NAOKI  
KURIHARA TAKASHI**

**(54)TUNABLE OPTICAL ATTENUATOR AND  
OPTICAL SWITCH**

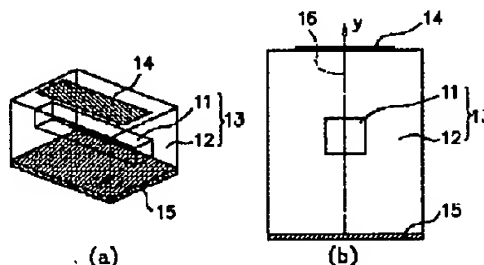
**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a small-sized tunable optical attenuator having a simple configuration and a large tunable attenuation amt. and to obtain a small-size optical switch having a simple configuration and small cross talk.

SOLUTION: A heater 14 and a heat radiating substrate 15 are disposed respectively on the upper and lower faces of an optical waveguide 13 consisting of a core 11 and a clad 12 so that heat-induced core region having a higher refractive index than the surrounding region in a part of the clad 12 by the temp. gradient and the thermo-optical effect caused between the heater 14 and the heat radiating substrate 15. Thereby, the conducting mode in the core 11 of the optical waveguide is optically coupled with the radiating mode in the

heat-induced core region so as to attenuate the propagating light in the core 11 of the optical waveguide.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-241774

(P 2 0 0 0 - 2 4 1 7 7 4 A)

(43) 公開日 平成12年9月8日 (2000.9.8)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>

識別記号

F I

7-コード (参考)

G02F 1/01

G02F 1/01

C 2H079

1/313

1/313

2K002

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全6頁)

(21) 出願番号 特願平11-39847

(22) 出願日 平成11年2月18日 (1999.2.18)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 大庭 直樹

東京都新宿区西新宿3丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 栗原 隆

東京都新宿区西新宿3丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74) 代理人 100069981

弁理士 吉田 精孝

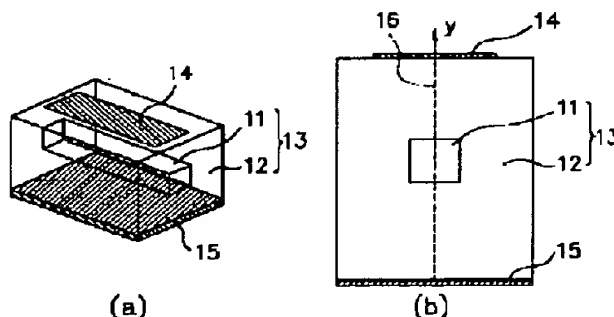
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可変光減衰器及び光スイッチ

(57) 【要約】

【課題】 単純な構成で小型かつ可変減衰量の大きい可変光減衰器及び単純な構成で小型かつクロストークの小さい光スイッチを実現すること。

【解決手段】 コア11及びクラッド12からなる光導波路13の上下にヒーター14及び放熱基板15を配置し、ヒーター14と放熱基板15との間に生ずる温度勾配及び熱光学効果によりクラッド12の一部に周囲より屈折率の高い熱誘起コア部を生じさせ、前記光導波路のコア11の導波モードを熱誘起コア部の放射モードに光結合させることにより光導波路のコア11中の導波光を減衰させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 コア及びクラッドからなる光導波路と、該光導波路に接するヒーターと、前記光導波路に接する放熱基板とで構成され、

ヒーターと放熱基板との間に生ずる温度勾配及び熱光学効果によりクラッドの一部に周囲より屈折率の高い熱誘起コア部を生じさせ、

前記光導波路のコアの導波モードを熱誘起コア部の放射モードに光結合させることにより光導波路のコア中の導波光を減衰させることを特徴とする可変光減衰器。

【請求項 2】 コア、クラッド及び光を吸収または散乱する材料よりなる光減衰層からなる光導波路と、該光導波路に接するヒーターと、前記光導波路に接する放熱基板とで構成され、

ヒーターと放熱基板との間に生ずる温度勾配及び熱光学効果により光減衰層の一部及びクラッドの一部に周囲より屈折率の高い熱誘起コア部を生じさせ、

前記光導波路のコアの導波モードを熱誘起コア部の導波モードまたは放射モードに光結合させることにより光導波路のコア中の導波光を減衰させることを特徴とする可変光減衰器。

【請求項 3】 光減衰層は、カーボンブラックまたは酸化亜鉛微粒子が分散された材料からなることを特徴とする請求項 2 記載の可変光減衰器。

【請求項 4】 放熱平面基板と、該放熱平面基板上に形成されたコア及びクラッドからなる光導波路と、該光導波路上に形成されるヒーターとで構成され、

ヒーターが基板面を基準にしてコアの斜め上方のクラッド上にあることを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれか記載の可変光減衰器。

【請求項 5】 放熱平面基板と、該放熱平面基板上に形成されたコア及びクラッドからなる光導波路と、該光導波路上に形成されるヒーターとで構成され、

ヒーターの加熱領域にあるコアが円弧を描く部分を持つことを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれか記載の可変光減衰器。

【請求項 6】 光導波路は、アクリル系高分子または紫外線硬化エポキシ樹脂またはシリコン樹脂またはポリイミドのいずれか、またはそれらの組み合わせからなることを特徴とする請求項 1 乃至 5 いずれか記載の可変光減衰器。

【請求項 7】 放熱平面基板と、該放熱平面基板上に形成された Y 分岐形状のコア及びクラッドからなる光導波路と、該光導波路の分岐部近傍に接するヒーターとで構成され、

ヒーターの加熱領域が 2 つの分岐コアが光学結合しない領域を含み、ヒーターと放熱基板との間に生ずる温度勾配及び熱光学効果によりクラッドの一部に周囲より屈折率の高い熱誘起コア部を生じさせ、

分岐コアの導波モードを熱誘起コア部の放射モードに光

結合させることにより分岐コアの導波光を減衰させることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 8】 放熱平面基板と、該放熱平面基板上に形成された Y 分岐形状のコア、クラッド及び光を吸収または散乱する材料よりなる光減衰層からなる光導波路と、該光導波路の分岐部近傍に接するヒーターとで構成され、

ヒーターの加熱領域が 2 つの分岐コアが光学結合しない領域を含み、ヒーターと放熱基板との間に生ずる温度勾配及び熱光学効果により光減衰層の一部及びクラッドの一部に周囲より屈折率の高い熱誘起コア部を生じさせ、分岐コアの導波モードを熱誘起コア部の導波モードまたは放射モードに光結合させることにより分岐コアの導波光を減衰させることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 9】 光減衰層は、カーボンブラックまたは酸化亜鉛微粒子が分散された材料からなることを特徴とする請求項 8 記載の光スイッチ。

【請求項 10】 光導波路は、アクリル系高分子または紫外線硬化エポキシ樹脂またはシリコン樹脂またはポリイミドのいずれか、またはそれらの組み合わせからなることを特徴とする請求項 7 乃至 9 いずれか記載の光スイッチ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信及び光信号処理システムにおける光信号強度の調節や光信号の遮断に用いられる可変光減衰器及び光信号の光路切り替えに用いられる光スイッチに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光通信に於いては、伝送品質を確保するために信号光の強度を適正值に調節する可変光減衰器が不可欠である。さらに、近年、普及し始めた波長多重通信や並列多チャンネル通信に於いては、複数のチャンネルの信号光強度を同じとすることが求められ、1つのシステムに多数の可変光減衰器が使われる。このため、多チャンネルに対応できる小型の可変光減衰器が求められている。

【0003】 可変光減衰器としては、空間光学型と光導波路型の 2 種類がある。

【0004】 前者の空間光学型可変光減衰器は、光吸収率 (OD) の異なる板状フィルターの切り替えや、面内で OD が連続的に変化する板状フィルターの位置移動により、吸収量の可変を実現している。光ファイバを導波する通信光に適用する場合は、入力ファイバから出た光をレンズで平行光にした後、前述の可変 OD フィルターを透過させ、さらにレンズを用いて出力ファイバに結合させる。この方式はレンズ系を用いるため、構造的に大きくなり、多チャンネルシステムには適さない。

【0005】 後者の光導波路型可変光減衰器は、小型であり、1つのチップ上に多数の可変光減衰器を集積でき

る特徴がある。この際、導波光制御の方法として、熱光学効果や電気光学効果を用いるものが提案されている。

【0006】熱光学効果を利用するものは、熱光学スイッチを低消光比状態に制御するもので、光スイッチの構成としてマッハツェンダー干渉計を用いるもの（例えば、T. Kawai, et. al., *Electron. Lett.*, Vol. 34, pp. 264~265, 1998参照）、またはY分岐型デジタルスイッチを用いるもの（例えば、特開平10-20348号参照）がある。両者とも、光導波路部の構造として方向性結合器や分岐器等の複雑なものが必要とされ、特性の再現性の問題や光回路が長くなるといった欠点がある。

【0007】また、電気光学効果を利用するものとして、曲線導波路外側のクラッドの屈折率を制御して導波光の閉じ込め強度を変化させ、曲線部外側へ放射する光量を調節するもの（例えば、特開平6-186513号参照）がある。電気光学効果を利用するものでは、特性の温度依存性が大い、特定の偏光でしか動作できないといった欠点があり、さらに減衰量が小さいために曲線部を多段にする必要があり、その分、素子が大きくなり、最低減衰量もしくは挿入損失が大きくなる等の欠点がある。

【0008】一方、光クロスコネクトシステム等に用いられる光スイッチには、近年、普及し始めた波長多重通信に対応するため、集積化及びクロストークをより小さくすることが求められている。光スイッチには、機械切り替え型と光導波路型の2種類がある。

【0009】前者の機械切り替え型光スイッチは光ファイバ自身やミラー、プリズム等を動かして光路を切り替えるもので、可動部分があるため、集積化や信頼性確保が難しいといった欠点がある。

【0010】後者の光導波路型光スイッチは集積化が容易であり、特に熱光学効果を使ったマッハツェンダー干渉計型やY分岐型デジタルスイッチ（例えば、吉田ら、NTT R&D, Vol. 44, pp. 547, または大庭ら、NTT R&D, Vol. 47, pp. 515, 1998等参照）は低損失であるため、有望視されているが、クロストークを低くするために2段構成にしたり、分岐角を小さくする等の工夫が必要となり、このため素子が大きくなる欠点があった。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】このように従来の可変光減衰器は、原理的または構造的に素子が大きくなり、特性の再現性、安定性が不十分であるという欠点を抱えていた。また、従来の光スイッチに於いてはクロストークの更なる低減が求められ、素子小型化の要求もあった。

【0012】本発明の目的は、直線や曲線の単純な導波路とヒーターによる単純な構造で小型の可変光減衰器及び光スイッチを実現することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の可変光減衰器では、コア及びクラッドからなる光導波路に接してヒーター及び放熱基板を配置し、ヒーターと放熱基板との間に生ずる温度勾配及び熱光学効果によりクラッドの一部に周囲より屈折率の高い熱誘起コア部を生じさせ、コアの導波モードを該熱誘起コア部の放射モードに光結合させることによりコア中の導波光を減衰させることを特徴とする。

【0014】また、本発明の光スイッチでは、平面基板上に形成されたY分岐形状のコア及びクラッドからなる光導波路の分岐部近傍に、加熱領域が2つの分岐コアが光学結合しない領域を含むようにヒーターを配置し、ヒーターと放熱基板との間に生ずる温度勾配及び熱光学効果によりクラッドの一部に周囲より屈折率の高い熱誘起コア部を生じさせ、分岐コアの導波モードを該熱誘起コア部の放射モードに光結合させることにより分岐コア中の導波光を減衰させてスイッチングを行うことを特徴とする。

【0015】

【発明の実施の形態】図1は本発明の可変光減衰器の実施の形態の一例を示すもので、コア11及びクラッド12からなる光導波路13と、該光導波路13に接するヒーター14と、前記光導波路13に接する放熱基板15とにより構成されている。光導波路13は、通常のシングルモード条件を満たす範囲でコアサイズ及びコアークラッド間の屈折率差を設定することができる。導波路コア11は、直線であっても基板に平行な面内で曲線を描いていても良い。

【0016】図2の(a)は、図1の可変光減衰器におけるヒーターを加熱しない時の光導波路断面における導波光の電界分布21と、図1の(b)に示したコアの中心線16に沿った屈折率分布22とを示している。この時、光導波路13は通常のシングルモード導波路として働き、導波光は導波路固有の吸収や散乱によってのみ減衰する。

【0017】ここで、ヒーター14を加熱すると、ヒーター14と基板15との間に温度勾配が生ずる。熱光学定数が負の材料を用いた場合、ヒーター14近くの屈折率が下がり、図2の(b)に示すように変化する。この際、符号17で示す領域の屈折率は、相対的にコア11の屈折率と同等もしくは大きくなっており、この領域は熱誘起コアとして働く。コア11と熱誘起コア17はクラッド12を挟んで近接するため、光結合を生じて方向性結合器として働く。図2の(b)には、加熱したヒーター14下を3mm導波後の光電界分布の計算値を示してある。

【0018】熱誘起コア17は面状に広がっているため、この光電界分布は放射モードであり、コア11内の光強度は光の進行とともに減衰していく。適当な加熱温

10

20

30

40

50

度を選ぶことで任意の光減衰量が得られ、可変光減衰器として働く。また、十分高温に加熱することで光遮断スイッチとして動作させることもできる。

【0019】なお、熱光学定数が正の材料を用いた場合には、熱誘起コア17はヒーター側のクラッド内に誘起され、この場合も上記と同じ動作原理で可変光減衰器、光遮断スイッチとして働く。

【0020】さらに、本発明では、領域17の一部または全部を光吸収性もしくは光散乱性の高い材料よりなる光減衰層とすることで減衰量が大きくなることを見いだした。この場合、非加熱時には光電場が光減衰層に掛からないので、最小減衰量は変化しない。このため、より短い素子または少ない加熱をもって、より大きい減衰量可変範囲が得られる。

【0021】光減衰層の材料としては、信号光波長帯で十分な光吸収があり、屈折率が光導波路のクラッドもしくはコアに近いことが望ましい。通信波長帯については、カーボンブラックや酸化亜鉛微粒子を分散した材料が効果的である。また、高分子材料の薄膜を形成後に熱で部分分解して黒化しても、カーボンブラックを分散するのと同様の効果が得られる。

【0022】図3は可変光減衰器の実施の形態の他の例を示すもので、ここでは同図の(a)に示すように、ヒーター14をコア11の中心線16に対しオフセット31を持たせて、光導波路コア11の斜め上方に配置した例を示す。この場合、ヒーター加熱により誘起する放射モードは、図3の(b)に示すようにコア11を挟んでヒーター14の逆側にも広がる。このために、コア11直上にヒーター14がある場合より大きい減衰量が得られる。光導波路のコア11が円弧を描く場合は、ヒーター加熱により誘起する放射モードは、図3の(b)と同様に円弧外周側に広がる。このため、コア11直上にヒーターがある場合より大きい減衰量が得られる。

【0023】本発明の可変光減衰器は、光導波路の任意の部分に形成でき、構成要素が熱光学光スイッチと同じであるため、熱光学光スイッチの分岐出力に連続して形成することができる。

【0024】図4は本発明の光スイッチの実施の形態の一例、ここではY分岐デジタル熱光学光スイッチの分岐コアに連続して放射型可変光減衰器を構成した例を示しており、放熱平面基板(図示せず)と、該放熱平面基板上に形成されたY分岐形状のコア41及びクラッド42からなる光導波路43と、該光導波路43の分岐部近傍に接するヒーター44a、44bとにより構成されている。

【0025】Y分岐光スイッチの光路切り替えスイッチとしての動作は、原理的に2つの分岐コアが光結合できる程度に近接する領域45のみに限られている。領域46は可変光減衰器として動作し、Y分岐光スイッチの消光側出力コアを導波するクロストーク光を減衰させる。

これにより、図4に示す光スイッチは高い消光比を実現している。

【0026】アクリル系高分子または紫外線硬化エポキシ樹脂またはシリコン樹脂またはポリイミドに代表される高分子光導波路材料は、石英ガラスのような無機ガラス光導波路材料に比べて熱光学定数が約1桁大きい特徴がある。このため、本発明の可変光減衰器及び光スイッチに高分子材料を用いると、低い加熱温度もしくは小さい加熱電力で同等の効果が得られる。

【0027】

【実施例1】屈折率1.489の重水素化シリコン樹脂をコアに、屈折率1.485の重水素化シリコン樹脂をクラッドに用いて、シリコン基板上に直線導波路を作製した。シリコン樹脂光導波路の作成方法は、特願平9-361383号「熱光学デバイス」に準じた。コア断面サイズは $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ 、下層クラッド厚、コア上の上部クラッド厚は、それぞれ $18\mu\text{m}$ 、 $16\mu\text{m}$ とした。導波路上に金薄膜をスパッター法で形成し、フォトリソグラフィ及びドライエッチング法を用いて長さ3mm、幅 $20\mu\text{m}$ でコアと平行のストリップ状の薄膜抵抗ヒーターを作製した。

【0028】図3の(a)に示したヒーターオフセット量31の異なる試料を複数作製した。作製した直線導波路両端にシングルモードファイバを突き合わせ結合し、波長 $1.55\mu\text{m}$ のLED光源及び光パワーメータを接続して透過光の減衰量を測定した。

【0029】図5に減衰量のヒーター加熱電力及びヒーターオフセット量依存を示す。この結果から、本試料が、0~150mWの加熱電力で減衰量0.5~20dBの可変光減衰器として動作することが確かめられた。

【0030】

【実施例2】カーボンブラックを分散した紫外線硬化性エポキシ樹脂をシリコン基板上にスピンコートし、紫外線照射後に $250^\circ\text{C}$ でアニールして、膜厚約 $4\mu\text{m}$ の薄膜を得た。この薄膜は波長 $1.55\mu\text{m}$ において0.2dB/ $\mu\text{m}$ の損失を持つため、光減衰層として働く。この光減衰層の上に実施例1と同じ要領で直線導波路、曲率半径30mmの曲線導波路及び薄膜ヒーターを形成した。但し、下層クラッド厚は $14\mu\text{m}$ 、ヒーターオフセット量は $0\mu\text{m}$ とした。実施例1と同様に波長 $1.55\mu\text{m}$ において透過光の減衰量を測定した。

【0031】図6に減衰量のヒーター加熱電力依存を示す。図5に示した光減衰層が無い場合に比べて最大減衰量が大きいことが分かる。また、曲線導波路を用いると直線のものに比べて減衰量が増加している。本試料は可変光減衰器のみならず、光遮断スイッチとしても十分な消光比となることが確認された。

【0032】

【実施例3】図4に示した構造の放射減衰型Y分岐光スイッチを、実施例1と同様の方法で作成した。ヒーター

44a, 44bの光路切り替え用領域45の長さは2.5mm、放射用領域46の長さは1mmとした。放射用領域46における2つの分岐コアは24 $\mu$ m以上離れている。比較用に放射用領域を持たない従来型の光スイッチも同様な方法で作成した。波長1.55 $\mu$ mのLD光源及び2つの光パワーメータをそれぞれ幹側、分岐側コアに接続してスイッチ特性を測定した。放射減衰型Y分岐光スイッチを120mWの印加電力で動作させた時の消光比は32dBであり、従来型の28dBより大きいことが確かめられた。

#### 【0033】

【実施例4】屈折率1.485のガラスレジンに平均粒径0.8 $\mu$ mの酸化亜鉛微粒子を分散した材料をシリコン基板上にスピコートして、膜厚約4 $\mu$ mの薄膜を得た。この薄膜は波長1.55 $\mu$ mにおいて0.2dB/ $\mu$ mの損失を持つため、光減衰層として働く。この上に実施例3同様の放射減衰型Y分岐光スイッチを作成した。但し、下層クラッド層の厚さは12 $\mu$ mとした。波長1.55 $\mu$ mのLD光源及び2つの光パワーメータをそれぞれ幹側、分岐側コアに接続してスイッチ特性を測定した。放射減衰型Y分岐光スイッチを120mWの印加電力で動作させた時の消光比は38dBであった。

#### 【0034】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、単純な構成で小型かつ可変減衰量の大きい可変光減衰器及び単純な構成で小型かつクロストークの小さい光スイッチを実現できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の可変光減衰器の実施の形態の一例を示す構成図

【図2】図1の可変光減衰器におけるヒーターを加熱しない時及び加熱した時の導波光の電界分布と中心線に沿った屈折率分布を示す図

【図3】本発明の可変光減衰器の実施の形態の他の例を示す図

【図4】本発明の光スイッチの実施の形態の一例を示す構成図

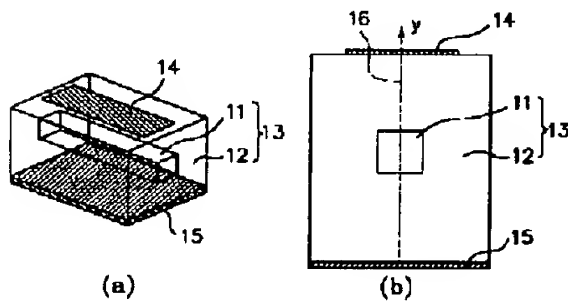
【図5】直線導波路による放射型可変光減衰器の特性図

【図6】光減衰層を持つ直線及び円弧導波路による放射型可変光減衰器の特性図

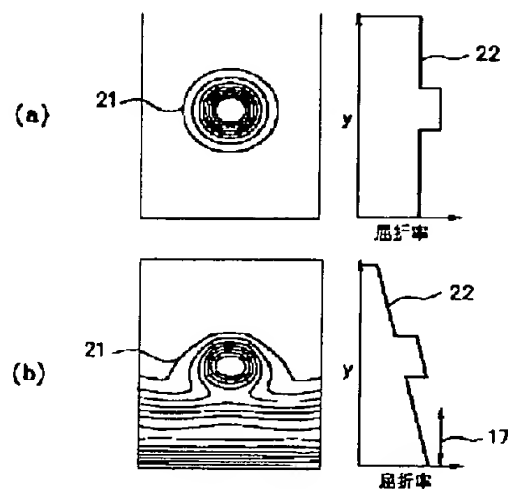
#### 【符号の説明】

11, 41: コア, 12, 42: クラッド, 13, 43: 光導波路, 14, 44: ヒーター, 15: 基板, 16: 中心線, 17: 熱誘起コア部, 21: 電界等高線, 22: 屈折率, 31: ヒーターオフセット量, 45: 光路切り替え領域, 46: 放射領域。

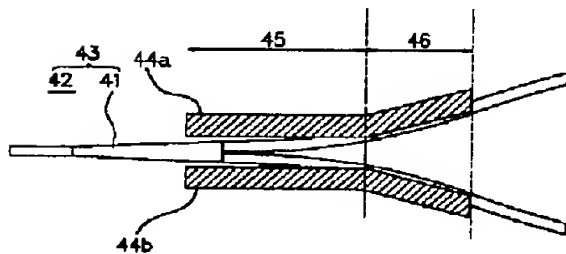
【図1】



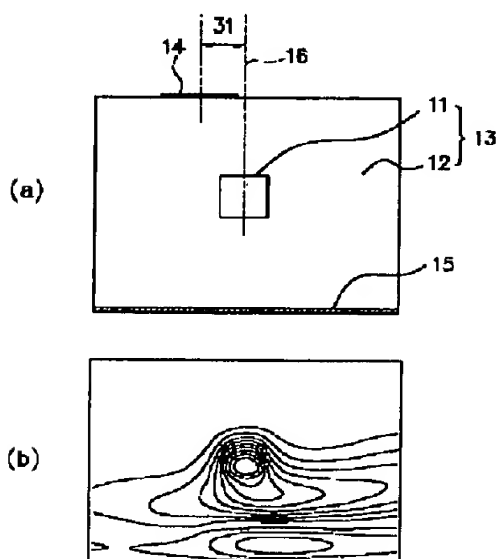
【図2】



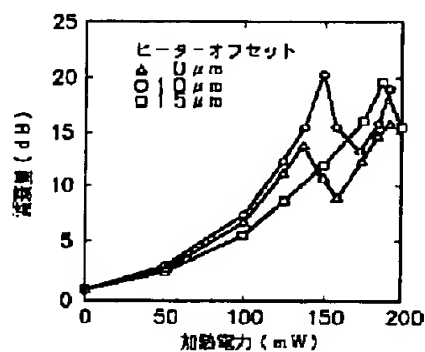
【図4】



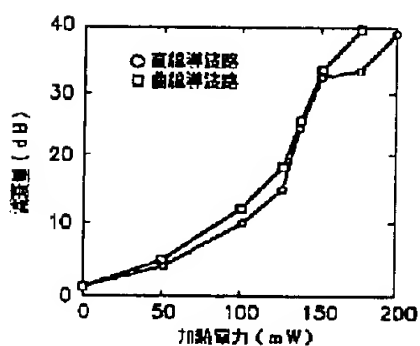
【図 3】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H079 AA06 AA12 BA01 CA04 CA05  
CA24 DA24 EA05 EB27  
2K002 AA02 AB01 AB04 BA13 CA06  
DA06 EA15 HA11